

19 REPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 738 343

21 N° d'enregistrement national : 95 10401

51 Int Cl⁸ : G 01 N 21/17, 21/84, G 01 B 11/30, G 02 B 27/00

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 30.08.95.

30 Priorité :

43 Date de la mise à disposition du public de la
demande : 07.03.97 Bulletin 97/10.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : Se reporter à la fin du
présent fascicule.

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

71 Demandeur(s) : COHEN SABBAN JOSEPH — FR,
GAILLARD GROLEAS JEROME ANTOINE JOSEPH
— FR, CREPIN PIERRE JEAN — FR et AYRAUD
MICHEL — FR.

72 Inventeur(s) :

73 Titulaire(s) :

74 Mandataire :

54 DISPOSITIF DE MICROSTRATIGRAPHIE OPTIQUE.

57 La présente invention concerne un dispositif de micro-
stratigraphie optique fonctionnant sur le principe de l'ima-
gerie confocale à profondeur de champ étendue codée
chromatiquement, permettant la détection et la localisation
simultanées et en un instantané d'une ou de plusieurs in-
terfaces située(s) à l'intérieur d'un objet et caractérisée(s)
par son (leurs) saut(s) d'indice de réfraction complexe(s)
respectifs(s).

Le dispositif comprend quatre éléments:

* Une sonde optique dont le chromatisme axial connu
code l'espace de mesure selon un segment de droite cor-
respondant à sa profondeur de champ.

* Un boîtier commun à l'éclairage et à la détection com-
prenant:

. une source lumineuse polychromatique à spectre conti-
nu,

. un dispositif d'analyse spectrale,

. un détecteur photoélectrique linéaire multiéléments.

* Un système intégré à entrées/sorties sur fibres opti-
ques.

* Des moyens électroniques et informatiques permettant
d'enregistrer, traiter et visualiser les signaux acquis.

FR 2 738 343 - A1



La présente invention concerne un dispositif de microstratigraphie optique fonctionnant sur le principe de l'imagerie confocale à profondeur de champ étendue codée chromatiquement, permettant la détection et la localisation simultanées et en un instantané d'une ou de plusieurs interfaces située(s) à l'intérieur d'un objet et caractérisée(s) par son (leurs) saut(s) d'indice de réfraction complexe(s) respectifs(s).

Le dispositif optoélectronique comprend quatre éléments :

- * Une sonde optique dont le chromatisme axial connu code l'espace de mesure selon un segment de droite correspondant à sa profondeur de champ.
- * Un boîtier commun à l'éclairage et à la détection comprenant :
 - une source lumineuse polychromatique à spectre continu,
 - un dispositif d'analyse spectrale du flux réfléchi/rétrodiffusé par la(les) interfaces située(s) dans la profondeur de champ du codage,
 - un détecteur photoélectrique linéaire multiéléments permettant la détermination simultanée des positions des interfaces, chacune étant caractérisée par la longueur d'onde centrale du pic qui lui est associé sur le signal analogique issu du détecteur.
- * Un système intégré à entrées/sorties sur fibres optiques de type coupleur ou circulateur optique, permettant de relier la sonde au boîtier commun à l'éclairage et à la détection, et de réaliser la séparation entre les flux lumineux de codage (de la source vers la sonde) et de mesure (de la sonde vers l'analyseur spectral).
- * Des moyens électroniques et informatiques permettant d'enregistrer, traiter et visualiser les signaux acquis et d'en extraire en temps réel les informations recherchées telles que les positions respectives de toutes les interfaces observées, les écarts d'indice de réfraction et l'ensemble des caractérisations optiques qui en découlent.

Certains travaux, récemment publiés sous forme de Brevets et/ou d'articles dans des revues spécialisées, sont parfaitement connus de l'homme de l'art et brièvement examinés ci-après.

Ces travaux peuvent être classés en deux grandes familles en distinguant :

- D'une part les dispositifs utilisant l'association du chromatisme axial d'objectifs à un système optique de type confocal, comme les brevets EP 0142464 ou EP 0327425, ou la publication de H.J. TIZIANI (APPLIED OPTICS Vol 33 N°10, avril 1994).
- D'autre part les dispositifs permettant de déporter au moyen de fibres optiques un ou plusieurs éléments d'un système optique de type confocal, comme dans les publications de T.DABBS (APPLIED OPTICS, Vol31 N°6, Février 1992), qui déporte la source laser et le détecteur au moyen de fibres optiques, ou A.F.GMITRO (OPTICS LETTERS, Vol18 N°8, Avril 1993) qui déporte la zone d'observation d'un microscope confocal à balayage au moyen d'un faisceau ordonné de fibres optiques, ou encore T.DABBS (APPLIED OPTICS, Vol31 N°16, Juin1992) qui utilise un coupleur monomode pour le déport de la tête de mesure d'un microscope confocal laser.

Dans les références de la première famille, les auteurs décrivent divers procédés de profilométrie de surface utilisant l'aberration chromatique axiale pour coder l'espace d'observation en imagerie confocale dans lesquels l'analyse soit spectrale, soit colorimétrique, permet de déterminer la longueur d'onde dominante du flux rétrodiffusé par l'objet, et donc l'altitude z de la surface.

Notre invention diffère notablement de ces dispositifs en ce qu'elle permet la détection simultanée de toutes les interfaces caractérisées par une variation d'indice de réfraction rencontrées sur le trajet du pinceau lumineux polychromatique de codage, et qui donnent naissance soit à une réflexion spéculaire dans le cas d'un dioptre idéal, soit à une

5 rétrodiffusion pour un milieu diffusant.

De plus l'utilisation d'un coupleur achromatique à fibres optiques permet de réaliser à l'aide d'un seul composant les fonctions de déport de la sonde de mesure et la séparation des flux lumineux aller et retour.

10 Dans les références de la deuxième famille, aucun dispositif ne met en oeuvre l'association du codage chromatique de l'espace de mesure à l'aide d'un objectif à chromatisme axial contrôlé et du déport par fibre d'un système confocal.

Il en résulte qu'aucun de ces équipements n'est capable de mesurer simultanément plusieurs interfaces, comme c'est le cas pour notre invention.

15 L'examen des brevets et publications antérieurs conforte donc le caractère innovant de l'invention, qui présente à la fois une structure originale et des domaines d'application nouveaux, jusqu'ici inaccessibles.

La configuration optogéométrique du dispositif de microstratigraphie optique objet de la présente invention offre par ailleurs les avantages significatifs suivants :

- 20 - le coeur de l'extrémité de la fibre optique atteignant la sonde joue à la fois le rôle de trou source et de trou de filtrage spatial du dispositif confocal ; ils sont ainsi toujours parfaitement conjugués, ce qui garantit une stabilité et une robustesse accrues,
- le coupleur à fibres optiques qui est un composant monolithique et donc robuste, remplace les moyens conventionnels de séparation de faisceaux tels que les lames ou cubes semi-réfléchissants travaillant en trajet collimaté en entrée/sortie d'optiques de focalisation sur
- 25 les différentes extrémités de fibres optiques,
- l'analyse spectrale exhaustive du flux lumineux à l'aide d'un spectrographe comprenant un capteur linéaire multiéléments donne accès à la détection simultanée de plusieurs interfaces (variation d'indice de réfraction) situées dans la profondeur de champ du codage chromatique, contrairement à tous les dispositifs cités précédemment qui se limitent
- 30 strictement à une profilométrie de surfaces.
- En effet, pour chaque interface située dans la profondeur de champ de l'objectif à chromatisme axial, on observe un pic sur le capteur linéaire multiéléments dont :
 - la forme est définie par les caractéristiques optogéométriques de la sonde de mesure,
 - la longueur d'onde centrale est représentative de la position de cette interface,
 - 35 • l'amplitude est représentative de la variation d'indice rencontrée, c'est-à-dire de l'albédo local.

De plus, les mesures de position des interfaces rencontrées sont ici, contrairement à la grande majorité des systèmes de proximité optique, très peu sensibles à la structure colorimétrique et photométrique des objets examinés. Une variation locale de couleur ou de

40 réflectivité provoque bien sûr une variation de la hauteur du pic associé sur le détecteur, mais sa longueur d'onde centrale reste quasiment constante, fournissant ainsi une mesure de distance indépendante de la hauteur de ce pic.

- En particulier, cette indépendance de la mesure à l'intensité du flux rétrodiffusé rend le capteur insensible aux propriétés optiques de la fibre servant au transport de ce flux, qui peut donc être de longueur, de composition (matériau et technologie), de diamètre (monomode ou multimodes) quelconques. De même les atténuations provoquées par les modifications de courbure le long du trajet de la fibre ou la présence de connecteurs sont sans effet sur la mesure.

Les domaines d'application de ce nouveau procédé sont très variés ainsi que le montre la liste non exhaustive et non limitative suivante :

- Mesure d'épaisseur d'objets transparents ou translucides, caractérisation de films fins,
- 10 • Localisation de bulles, d'inclusions ou de défauts à l'intérieur de milieux partiellement transparents,
- Caractérisation de ces inclusions ou de ces défauts par mesure des indices de réfraction,
- Analyse de structures multicouches dans l'industrie (plastiques, semi-conducteurs, traitements de surface),
- 15 • Biologie (structures cellulaires multicouches telles que cornée ou rétine in vitro)

Dans le cas où la sonde est en poste fixe au-dessus de l'objet sous examen, le dispositif permet d'étudier l'évolution temporelle de la structure interne de cet objet.

- Lorsque le dispositif est relié à un système automatisé de translation/rotation de la sonde et d'acquisition des mesures, il est possible de procéder à la cartographie volumique des structures internes de l'objet.

Des modes de réalisation préférés du dispositif de microstratigraphie optique objet de la présente invention sont décrits ci-après à titre d'exemple, en référence à la figure annexée ci-après dans laquelle est représenté un mode de réalisation du dispositif selon l'invention qui fonctionne de la façon décrite ci-après :

- 25 * La source lumineuse (10) polychromatique et à spectre continu éclaire, au moyen d'une optique de focalisation (11), l'extrémité d'entrée (12) d'une fibre optique (13).
- * Cette fibre optique (13) transporte le flux lumineux collecté jusqu'au port d'entrée (14) d'un coupleur à fibres optiques polychromatique (17), lequel dirige ledit flux via son port de sortie (16) et une seconde fibre optique (18) vers la sonde de mesure (21) et ce de façon sélective en évitant tout couplage indésirable vers son second port de sortie (15).
- 30 * Le coeur de l'extrémité de sortie de la seconde fibre optique (18) agissant comme un sténopé (19) joue le rôle de source lumineuse quasi-punctuelle pour la sonde confocale à champ étendu (21).
- * La source (21) comporte un objectif de projection (20) présentant un chromatisme axial connu et formant un ensemble d'images monochromatiques du sténopé (19) définissant ainsi un segment de droite d'observation AB (22) dans l'espace objet, chaque image du sténopé (19) étant définie par sa longueur d'onde et sa distance de focalisation par rapport à l'objectif de projection (20).
- 35 * Le même objectif de projection (20), fonctionnant selon le principe optique du retour inverse de la lumière, collecte les pincesaux rétrodiffusés par la droite d'observation AB (22) dans l'objet pour former, sur l'extrémité (19) de la fibre optique (18) qui joue maintenant le rôle de trou de filtrage spatial de la sonde optique confocale, une image
- 40

polychromatique unique dont les longueurs d'ondes qui la composent sont celles correspondant aux positions selon z des interfaces.

- 5 * Le flux lumineux polychromatique ainsi recueilli est transporté par la fibre optique (18) jusqu'au port (16) du coupleur à fibre (17), lequel dirige ledit flux via son port de sortie (15) et une troisième fibre (23) vers un spectrographe (25) et ce de façon sélective en évitant tout couplage indésirable vers son port d'entrée (14).
- 10 * Le spectrographe (25), dont l'entrée est le coeur de l'extrémité de sortie (24) de la fibre optique (23), comporte un sous-ensemble de dispersion chromatique angulaire (26) et un détecteur photoélectrique linéaire multiéléments (27) qui fournit, à l'aide de son électronique de pilotage et de traitement (28), une image instantanée des interfaces rencontrées le long du segment de droite d'observation AB (22).
- 15 * Des moyens électroniques et informatiques (29) permettent d'enregistrer, traiter et visualiser les signaux acquis, et d'en déduire, si nécessaire en temps réel, les informations recherchées sur l'objet examiné, telles que la position des interfaces, les écarts d'indices de réfraction, et toutes les propriétés optiques ou physiques qui en découlent.
- 20 * Des moyens mécaniques (30) de translation/rotation multi-axes, équipés des moyens électromécaniques et informatiques (31) de pilotage, contrôle-commande et automatisation des déplacements, permettent d'orienter la sonde optique (21) selon toute direction de l'espace de mesure, manuellement et/ou automatiquement, afin de pouvoir travailler sur toutes formes d'objets.

Selon des modes préférés de réalisation, l'optique à chromatisme axial contrôlé peut être du type optique réfractive (association de lentilles de forme et composition adéquates), ou du type diffractive (lentille holographique), ou formée d'une combinaison des deux technologies.

- 25 Selon des modes préférés de réalisation, et selon les gammes de longueurs d'onde envisagées, le dispositif d'analyse spectrale peut utiliser un prisme ou un réseau comme élément dispersif, ou une combinaison des deux technologies.

1/1

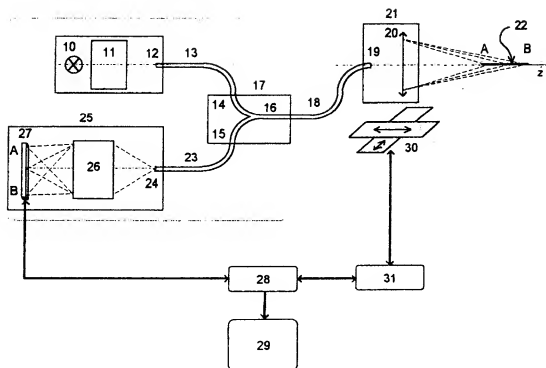


Figure 1

REVENDECATIONS

- Dispositif de microstratigraphie optique destiné à la détection et la localisation simultanées et en un instantané d'une ou de plusieurs interfaces située(s) à l'intérieur d'un objet et caractérisée(s) par son (leurs) saut(s) d'indice(s) de réfraction complexes(s) respectif(s) ledit dispositif optoélectronique étant caractérisé en ce qu'il comporte une source lumineuse (10) polychromatique éclairant au moyen d'une optique de focalisation (11) une fibre optique (13) laquelle transporte le flux lumineux collecté jusqu'au port d'entrée (14) d'un coupleur à fibres optiques polychromatique (17) lequel dirige ledit flux via son port de sortie (16) vers une seconde fibre optique (18) dont l'extrémité (19) joue le rôle de source ponctuelle polychromatique pour la sonde confocale à champ étendu (21) dont l'objectif de projection (20) présentant un chromatisme axial connu forme un ensemble d'images monochromatiques définissant un segment de droite d'observation (22) dans l'espace objet chaque image étant définie par sa longueur d'onde et sa distance de focalisation. Le même objectif de projection (20) fonctionnant selon le principe du retour inverse de la lumière forme sur l'extrémité (19) de la fibre (18) une image polychromatique unique dont les longueurs d'onde qui la composent correspondent aux positions selon z des interfaces interceptées par le segment d'observation (22). Le flux lumineux recueilli par la fibre (18) est transporté jusqu'au port (16) du coupleur (17) lequel le dirige via son port de sortie (15) vers une troisième fibre optique (23) dont l'extrémité de sortie (24) est placée à l'entrée d'un spectrographe (25) comprenant un sous-ensemble de dispersion chromatique angulaire (26) et un détecteur photoélectrique linéaire multiséments (27) sur lequel se forme l'image instantanée des interfaces rencontrées le long du segment d'observation AB (22). Le dispositif comprend également des moyens électroniques de pilotage et de traitement (28) du détecteur photoélectrique ainsi que des moyens électroniques et informatiques (29) d'enregistrement, de traitement et de visualisation des signaux acquis.
- Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que sont adjoints des moyens mécaniques (30) de translation/rotation multi-axes équipés des moyens électromécaniques et informatiques (31) de pilotage, contrôle-commande et automatisation desdites translations/rotations.
- Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la source lumineuse polychromatique (10) est réalisée par couplage optique de plusieurs sources élémentaires polychromatiques pouvant être de compositions spectrales différentes.
- Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'objectif de projection (20) peut être du type optique réfractive ou du type optique diffractive ou formé d'une combinaison des deux.
- Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que selon les gammes de longueurs d'onde envisagées le spectrographe (25) peut utiliser un prisme ou un réseau comme élément dispersif angulaire ou une combinaison des deux technologies.